低聚木糖对生长肥育猪血浆生化参数、肌肉氨基酸含量和肌纤维类型组成的影响

韩　丽[1,2]　潘　杰[3]　解培峰[1,3]　丁　浩[3,4]　王占彬[2]　黄兴国[3]　孔祥峰[1,3*]

（1.中国科学院亚热带农业生态研究所，亚热带农业生态过程重点实验室，动物营养生理与代谢过程实验室，长沙 410125；2.河南科技大学，动物科技学院，洛阳 471003；3.湖南农业大学，动物科学技术学院，长沙 410128；4.山东龙力生物科技股份有限公司，禹城 251200）

摘　要：本试验旨在研究低聚木糖（XOS）对生长肥育猪血浆生化参数、肌肉氨基酸含量和肌纤维类型组成的影响。试验选取 70 日龄、平均体重约为 30 kg 的杜×长×大三元杂交猪 80 头，随机分为 8 组，每组 10 个重复（公母各占 1/2），每个重复 1 头猪。试验设对照组、抗生素组、30~65 kg 阶段 100、250 和 500 g/t XOS 组以及 30~100 kg 阶段 100、250 和 500 g/t XOS 组。于试猪平均体重达 100 kg 时，前腔静脉采血，离心分离血浆，测定生化参数；屠宰后取背最长肌样品，测定其氨基酸含量及肌纤维类型和肌肉生长相关基因 mRNA 表达量。结果表明：1）与对照组或抗生素组相比，饲粮添加不同剂量 XOS 可显著提高血浆球蛋白含量（$P<0.05$），显著降低白蛋白/球蛋白值（$P<0.05$）；2）与对照组或抗生素组相比，30~65 kg 阶段饲粮添加 250 g/t XOS 可显著降低背最长肌中苏氨酸（Thr）、亮氨酸（Leu）、苯丙氨酸和丝氨酸（Ser）含量（$P<0.05$），30~65 kg 阶段饲粮添加 500 g/t XOS 可显著增加背最长肌肌球蛋白重链Ⅱx（*MyHC*Ⅱ*x*）、生肌决定因子（*MyoD*）、肌细胞生成素（*MyoG*）和生肌增强因子 2A（*MEF2A*）mRNA 表达量；3）与对照组或抗生素组相比，30~100 kg 阶段饲粮添加 100 或 500 g/t XOS 可显著增加背最长肌中 Thr、Leu、Ser、总氨基酸、必需氨基酸和鲜味氨基酸含量以及 *MyHC*Ⅱ*x*、*MyoD*、*MyoG*、*MEF2A* 和肌肉生长抑制素 mRNA 表达量（$P<0.05$）。综上所述，饲粮添加一定剂量的 XOS 可调控机体氮代谢，上调肌纤维类型和肌肉生长相关基因的表达，且以 30~100 kg 阶段添加 100 g/t XOS 的效果较佳。

关键词：低聚木糖；生长肥育猪；生化参数；氨基酸；肌纤维类型

中图分类号：S816

随着人们生活水平的提高和饮食观念的转变，消费者对口感好、风味佳、营养价值高的无公害畜产品的需求越来越旺盛。但以往的生猪养殖长期使用饲用抗生素，这引起猪肉品质降低及抗生素残留等问题[1]。因此，研发既能替代饲用抗生素又能改善肉品风味的绿色饲料添加剂已迫在眉睫。低聚木糖（xylo-oligosaccharide,XOS）是由2~7个木糖以β－1,4－糖苷键连接而成的一种功能性低聚糖，具有耐酸耐热、不易被机体消化酶分解等突出特点[2]。有研究表明，XOS可促进双歧杆菌和乳酸菌等有益菌的增殖，增加有益菌酵解产生的乙酸、丙酸

收稿日期：2017–10–07

基金项目：国家 973 计划课题（2012CB124704）；山东龙力生物科技股份有限公司合作项目；中央驻湘科研机构技术创新发展专项（2013TF3006）

作者简介：韩　丽（1992—），女，河南周口人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail： 1404082917@qq.com

*通信作者：孔祥峰，研究员，博士生导师，E-mail： nnkxf@isa.ac.cn

和丁酸等短链脂肪酸含量，降低肠道pH，促进钙、镁、锌等离子的吸收[3]，进而提高猪肉pH，降低滴水损失，改善肉品质，是目前所有低聚糖中最有前途的益菌因子[4]。另外，饲粮添加100 g/t XOS可显著提高断奶仔猪肌球蛋白重链（*MyHC*）Ⅱ*x*和*MyHC*Ⅱ*a* mRNA表达量，添加250 g/t XOS可显著提高断奶仔猪背最长肌游离氨基酸含量[5]。笔者前期研究发现，30~100 kg生长肥育猪饲粮中添加100 g/t XOS提高了肌肉中肌内脂肪含量和油酸/亚油酸[6]，添加500 g/t XOS提高了肌肉粗蛋白质含量，进而提高了猪肉的营养价值[7]。肌纤维是构成肌肉的基本单位，其类型及组成与肌肉的嫩度、风味和肌内脂肪等指标密切相关，而肌肉氨基酸组成和比例对猪肉鲜味也具有重要影响。可见，国内外有关XOS对畜禽肉品质的研究逐渐成为了热点。但XOS对生长育肥猪肌肉氨基酸组成和肌纤维类型转化影响的报道却相对较少，且对XOS添加方式的研究也不多见。因此，本试验研究了不同生长阶段添加不同剂量XOS对生长肥育猪血浆生化参数、肌肉氨基酸含量和肌纤维类型组成的影响，为其在改善肉品质方面的应用提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

XOS 由山东龙力生物科技有限公司提供，主要成分为木二糖、木三糖和木四糖，其中 XOS 含量≥35%。

1.2　试验动物、分组与饲养管理

试验选用 70 日龄、平均体重为 30 kg 的杜×长×大三元杂交猪 80 头，公母各占 1/2，随机分为 8 组，每组 10 个重复，每个重复 1 头猪，饲养于 0.6 m×1.1 m 的单栏内。试验设对照组（饲喂基础饲粮），抗生素组（饲喂在每吨基础饲粮中添加 0.2 kg 抗敌素和添加 0.04 kg 有效含量为 50%的维吉尼亚霉素预混剂的饲粮），30~65 kg 阶段 100、250 和 500 g/t XOS 组（在 30~65 kg 阶段分别饲喂在基础饲粮中添加 100、250 和 500 g/t XOS 的饲粮，在 66~100 kg 阶段饲喂基础饲粮）以及 30~100 kg 阶段 100、250 和 500 g/t XOS 组（分别饲喂在基础饲粮中添加 100、250 和 500 g/t XOS 的饲粮）。各组试猪体重达 100 kg 左右时（约 170 日龄）屠宰采样。XOS 添加剂量根据前人研究报道[5,8]及生产厂家建议确定。

试验基础饲粮营养水平参照 NRC（2012）猪营养需求标准配制，未添加抗生素，其组成及营养水平同文献[7]。动物饲养试验于 2015 年 6 月—9 月在中国科学院亚热带农业生态研究所永安动物实验基地开展，其饲养管理严格按照商业养殖场规范操作。

1.3　样品采集与处理

试验结束时早上空腹称重后，每组随机选取8头试猪（公母各占1/2），前腔静脉采血，肝素抗凝，离心分离血浆，测定血浆氮代谢等相关生化参数[9]。屠宰后取背最长肌2 g，−80 ℃保存，用于基因表达分析；另外取背最长肌200 g，−20 ℃保存，用于肌肉水解氨基酸含量测定[10]。

1.4　指标测定与方法

1.4.1　血浆生化参数测定

根据试剂盒（北京利德曼公司提供）说明，用CX4型全自动生化分析仪（Beckman）测定血浆中总蛋白（TP）、白蛋白（ALB）和球蛋白（GLB）含量以及碱性磷酸酶（ALP)的活性[11]。

1.4.2　肌肉氨基酸含量测定

用L－8800型全自动氨基酸分析仪（日立公司），参照Liu等[12]的方法测定背最长肌中水解氨基酸含量，并计算其中总氨基酸（TAA）、必需氨基酸（EAA）、非必需氨基酸（NEAA）和鲜味氨基酸（FAA）含量。

1.4.3　肌纤维类型和肌肉生长相关基因表达量测定

采用RNA Isolation Solvent试剂盒提取背最长肌中总RNA，Nanodrop 2000微量紫外分光光度计测定其浓度后，用PrimeScript RT试剂盒将其反转为cDNA。以cDNA为模板，β－肌动蛋白（β-actin）为内参基因，采用ABI－7900HT实时荧光定量PCR仪（Applied Biosystems，美国）测定*MyHC*Ⅰ、*MyHC*Ⅱ*a*、*MyHC*Ⅱ*b*和*MyHC*Ⅱ*x*以及生肌决定因子（*MyoD*）、肌细胞生成素(*MyoG*)、肌肉生长抑制素（*MSTN*）和生肌增强因子2A(*MEF2A*)等基因mRNA表达量[12]。目的基因的相对表达量采用$2^{-\Delta\Delta Ct}$法计算。引物由生工生物工程（上海）有限公司合成，引物序列及参数见表1。

表 1　引物序列及参数

Table 1　Sequences and parameters of primers

基因 Genes	引物序列 Sequences of primers	产物大小 Product size/bp
肌球蛋白重链Ⅰ *MyHC*Ⅰ	F:5’-GGCCCCTTCCAGCTTGA-3’ R:5’-TGGCTGCGCCTTGGTTT-3’	114
肌球蛋白重链Ⅱa *MyHC*Ⅱ*a*	F:5’-TTAAAAAGCTCCAAGAACTGTTTCA-3’ R:5’CCATTTCCTGGTCGGAACTC-3’	136
肌球蛋白重链Ⅱx *MyHC*Ⅱ*x*	F:5’-AGCTTCAAGTTCTGCCCCACT-3’ R:5’-GGCTGCGGGTTATTGATGG-3’	76
肌球蛋白重链Ⅱb *MyHC*Ⅱ*b*	F:5’-CACTTTAAGTAGTTGTCTGCCTTGAG-3’ R:5’GGCAGCAGGGCACTAGATGT-3’	80
生肌决定因子 *MyoD*	F:5’-CAACAGCGGACGACTTCTATG-3’ R:5’GCGCAAGATTTCCACCTT-3’	383
肌细胞生成素 *MyoG*	F:5’-GCAGGGTGCTCCTCTTCA-3’ R:5’-AGGCTACGAGCGGACTGA-3’	230
生 肌 增 强 因 子 2A *MEF2A*	F:5’-TGAATACCCAGAGGATAAGCAGTT-3’ R:5’-TAATCGGTGTTGTAGGCGG-3’	133
肌肉生长抑制素 *MSTN*	F:5’-GTCCCGTGGATCTGAATG-3’ R:5’-TTCCGTCGTAGCGTGATA-3’	293

1.5　数据统计与分析

试验数据采用Excel 2010初步整理后，利用SAS 9.2进行单因素方差分析（one-way

ANOVA）和LSD法多重比较，以最小二乘均数表示统计结果，$P<0.05$为差异显著，$0.05\leq P<0.10$表示有变化趋势。

2 结果与分析

2.1 XOS 对生长肥育猪血浆生化参数的影响

由表 2 可知，与对照组相比，30~65 kg 阶段 250 和 500 g/t XOS 组以及 30~100 kg 阶段 250 和 500 g/t XOS 组血浆 GLB 含量显著增加（$P<0.05$）；与抗生素组相比，30~100 kg 阶段 250 g/t XOS 组血浆 GLB 含量显著增加（$P<0.05$）；与对照组和抗生素组相比，30~65 kg 阶段 250 和 500 g/t XOS 组以及 30~100 kg 阶段 100、250 和 500 g/t XOS 组血浆 ALB/GLB 值显著降低（$P<0.05$）；各组间血浆 TP 和 ALB 含量无显著差异（$P>0.05$）。

2.2 XOS 对生长肥育猪肌肉氨基酸含量的影响

由表 3 可知，30~65 kg 阶段 250 g/t XOS 组肌肉中苏氨酸（Thr）、亮氨酸（Leu）、苯丙氨酸（Phe）、丝氨酸（Ser）、TAA、EAA、NEAA 和 FAA 含量显著低于抗生素组（$P<0.05$），30~100 kg 阶段 100 g/t XOS 组肌肉中 Thr、Leu、Ser、TAA、EAA 和 FAA 含量以及 30~100 kg 阶段 500 g/t XOS 组肌肉中 Thr、Ser 和 FAA 含量均显著高于对照组（$P<0.05$），30~100 kg 阶段 100 和 250 g/t XOS 组肌肉中 Phe 含量分别显著高于 30~65 kg 阶段 100 和 250 g/t XOS 组（$P<0.05$），肌肉中谷氨酸（Glu）含量分别显著高于 30~65 kg 阶段 250 g/t XOS 组（$P<0.05$）。

2.3 XOS 对生长肥育猪背最长肌中肌纤维类型和肌肉生长相关基因表达量的影响

由表 4 可知，与对照组或抗生素相比，30~65 kg 阶段 500 g/t XOS 组肌肉中 *MyHC*Ⅱ*x*、*MyoD*、*MyoG* 和 *MEF2A* 基因 mRNA 表达量显著增加（$P<0.05$）；与对照组或抗生素相比，30~100 kg 阶段 100 g/t XOS 组肌肉中 *MyoD*、*MyoG*、*MEF2A* 和 *MSTN* 基因 mRNA 表达量以及 30~100 kg 阶段 500 g/t XOS 组肌肉中 *MyHC*Ⅱ*x* 基因 mRNA 表达量均显著增加（$P<0.05$），30~100 kg 阶段 100 g/t XOS 组肌肉中 *MyoD*、*MyoG*、*MEF2A* 和 *MSTN* 基因 mRNA 表达量也显著高于 30~100 kg 阶段 250 或 500 g/t XOS 组以及 30~65 kg 阶段 100 g/t XOS 组（$P<0.05$）。

表 2　XOS 对生长肥育猪血浆生化参数的影响

Table 2　Effects of XOS on plasma biochemical indices of growing-finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	抗生素组 Antibiotic group	XOS 添加水平 XOS supplemental level/(g/t)						标准误 SEM	P 值 P-value
			30~65 kg 阶段 30 to 65 kg stage			30~100 kg 阶段 30 to 100 kg stage				
			100	250	500	100	250	500		
总蛋白 TP/(g/L)	61.50	62.08	63.81	62.93	65.03	63.09	64.49	65.49	0.38	0.18
白蛋白 ALB/(g/L)	48.29	49.34	49.30	45.57	47.78	47.24	47.03	48.33	0.33	0.30
球蛋白 GLB /(g/L)	12.27^{c}	13.18^{bc}	15.01^{abc}	16.52^{ab}	16.06^{ab}	15.38^{abc}	17.77^{a}	16.27^{ab}	0.47	0.01
白蛋白/球蛋白 ALB/GLB	4.08^{a}	4.01^{a}	3.33^{ab}	2.87^{b}	3.05^{b}	3.19^{b}	2.80^{b}	2.98^{b}	0.12	＜0.01

同行数据肩标不同字母表示差异显著（P<0.05）。下表同。

Values in the same row with different superscripts mean significant difference (P＜0.05). The same as below.

表 3　XOS 对生长肥育猪肌肉氨基酸含量的影响(鲜样基础）

Table 3　Effects of XOS on amino acid contents in muscle of growing-finishing pigs (fresh sample basis）　μg/g

项目 Items	对照组 Control group	抗生素组 Antibiotic group	XOS 添加水平 XOS supplemental level/(g/t)						标准误 SEM	P 值 P-value
			30~65 kg 阶段 30 to 65 kg stage			30~100 kg 阶段 30 to 100 kg stage				
			100	250	500	100	250	500		
赖氨酸 Lys	1.65	1.89	1.72	1.68	1.72	1.89	1.81	1.93	0.04	0.07
蛋氨酸 Met	0.58	0.64	0.59	0.57	0.6	0.64	0.61	0.64	0.01	0.08
苏氨酸 Thr	0.93^{b}	1.08^{a}	0.97^{ab}	0.93^{b}	0.99^{ab}	1.08^{a}	1.05^{ab}	1.08^{a}	0.02	0.01
缬氨酸 Val	0.93	1.10	0.94	0.92	1.01	1.11	1.03	1.11	0.03	0.17
亮氨酸 Leu	1.48^{bc}	1.65^{ab}	1.51^{abc}	1.44^{c}	1.52^{abc}	1.66^{a}	1.62^{ab}	1.64^{ab}	0.03	0.02
异亮氨酸 Ile	0.79	0.93	0.82	0.79	0.83	0.95	0.89	0.95	0.02	0.09
苯丙氨酸 Phe	0.62^{abc}	0.69^{a}	0.60^{bc}	0.57^{c}	0.68^{ab}	0.71^{a}	0.68^{ab}	0.65^{ab}	0.02	0.02

精氨酸 Arg	1.25	1.31	1.32	1.18	1.28	1.34	1.28	1.32	0.02	0.20
组氨酸 His	0.93	0.97	0.90	0.83	0.96	0.96	0.96	0.97	0.02	0.10
天冬氨酸 Asp	1.76	2.05	1.88	1.82	1.88	2.04	2.00	2.09	0.04	0.10
谷氨酸 Glu	3.03^{ab}	3.50^{a}	3.15^{ab}	2.95^{b}	3.29^{ab}	3.49^{a}	3.52^{a}	3.44^{ab}	0.08	0.05
丝氨酸 Ser	0.77^{b}	0.89^{a}	0.81^{ab}	0.77^{b}	0.83^{ab}	0.88^{a}	0.87^{ab}	0.90^{a}	0.02	0.03
甘氨酸 Gly	0.84	0.94	0.89	0.84	0.87	0.93	0.90	0.94	0.01	0.09
丙氨酸 Ala	1.20	1.41	1.27	1.23	1.31	1.37	1.36	1.44	0.03	0.15
酪氨酸 Tyr	0.69	0.73	0.65	0.59	0.71	0.74	0.74	0.69	0.02	0.27
脯氨酸 Pro	0.82	1.04	0.74	0.74	1.11	1.02	1.03	0.84	0.05	0.34
必需氨基酸 EAA	9.16^{bc}	10.26^{ab}	9.37^{abc}	8.89^{c}	9.59^{abc}	10.34^{a}	9.93^{abc}	10.30^{ab}	0.20	0.03
非必需氨基酸 NEAA	9.11^{bc}	10.55^{a}	9.40^{abc}	8.94^{c}	10.00^{abc}	10.48^{ab}	10.44^{ab}	10.34^{abc}	0.23	0.04
鲜味氨基酸 FAA	8.08^{bc}	9.21^{a}	8.52^{abc}	8.02^{c}	8.64^{abc}	9.18^{a}	9.06^{ab}	9.23^{a}	0.18	0.04
总氨基酸 TAA	18.27^{bc}	20.82^{a}	18.77^{abc}	17.84^{c}	19.59^{abc}	20.83^{a}	20.37^{ab}	20.64^{ab}	0.42	0.03

必需氨基酸=苏氨酸+缬氨酸+蛋氨酸+异亮氨酸+亮氨酸+苯丙氨酸+赖氨酸+组氨酸+精氨酸；非必需氨基酸=天冬氨酸+丝氨酸+谷氨酸+甘氨酸+丙氨酸+酪氨酸+脯氨酸；总氨基酸=必需氨基酸+非必需氨基酸；鲜味氨基酸=天冬氨酸+谷氨酸+甘氨酸+丙氨酸+精氨酸，其中天冬氨酸=天冬氨酸+天冬酰胺、谷氨酸=谷氨酸+谷氨酰胺。

EAA=Thr+Val+Met+Ile+Leu+Phe+Lys+His+Arg; NEAA=Asp+Ser+Glu+Gly+Ala+Tyr+Pro; TAA=EAA+NEAA; FAA=Asp+Glu+Gly+Arg, Asp=Asp+Asn, Glu=Glu+Gln.

表 4　XOS 对生长肥育猪肌纤维类型和肌肉生长相关基因表达量的影响

Table 4　Effects of XOS on expression levels of muscle fiber type and muscle growth-related genes of growing-finishing pigs

项目 Items	对照组 Control group	抗生素组 Antibiotic group	XOS 添加水平 XOS supplementation level/(g/t)						标准误 SEM	*P* 值 *P*-value
			30~65 kg 阶段 30 to 65 kg stage			30~100 kg 阶段 30 to 100 kg stage				
			100	250	500	100	250	500		

肌纤维类型 Muscle fiber types										
肌球蛋白重链Ⅰ *MyHC*Ⅰ	1.00	0.74	1.57	1.30	1.06	1.38	0.66	0.86	0.11	0.40
肌球蛋白重链Ⅱa *MyHC*Ⅱ*a*	1.00	0.49	0.41	1.04	0.91	0.63	0.50	0.38	0.09	0.05
肌球蛋白重链Ⅱb *MyHC*Ⅱ*b*	1.00	0.71	1.08	0.94	1.07	1.38	0.37	1.14	0.11	0.12
肌球蛋白重链Ⅱx *MyHC*Ⅱ*x*	1.00^{bc}	0.68^{c}	1.18^{abc}	1.53^{abc}	2.10^{a}	1.55^{abc}	0.91^{bc}	1.85^{ab}	0.18	＜0.01
肌肉生长相关基因 Muscle growth-related genes										
生肌决定因子 *MyoD*	1.00^{bcd}	0.58^{cd}	0.89^{bcd}	1.65^{abc}	1.97^{ab}	2.49^{a}	0.44^{d}	1.44^{abcd}	0.26	＜0.01
肌细胞生成素 *MyoG*	1.00^{c}	0.78^{c}	1.38^{bc}	1.96^{ab}	2.47^{a}	2.51^{a}	0.83^{c}	1.34^{bc}	0.25	＜0.01
生肌增强因子 2A *MEF2A*	1.00^{c}	0.99^{c}	1.90^{abc}	1.46^{bc}	2.40^{ab}	2.83^{a}	1.43^{bc}	1.24^{c}	0.24	＜0.01
肌肉生长抑制素 *MSTN*	1.00^{bcd}	0.53^{cd}	0.89^{bcd}	1.56^{ab}	1.34^{bc}	2.32^{a}	0.35^{d}	0.49^{cd}	0.23	＜0.01

3 讨 论

血浆生化参数可反映机体营养物质代谢、组织器官机能和病理变化等情况。其中，血浆TP含量可反映机体蛋白质的吸收、合成和分解能力[13]；血浆ALB是衡量机体营养状况和肝脏功能的重要指标，在肝脏的蛋白质代谢中起重要作用；血浆GLB由浆细胞分泌而来，且随血液中抗体水平的升高而升高，其含量主要反映动物机体的免疫能力。ALB/GLB可衡量机体的免疫水平，当血清蛋白质合成受到阻碍时，ALB含量减少、GLB含量增加，ALB/GLB值下降，机体免疫机能增强[14]。本试验中，饲粮添加XOS显著提高了血浆GLB含量，显著降低了ALB/GLB值，提示机体免疫力增强，可能与XOS增加肠道有益菌数量、改善肠道功能有关。这与谭兵兵等[8]、王喜明等[15]的研究结果基本一致。

肌肉中氨基酸的含量、组成和比例是评价猪肉营养价值及肉品质的重要指标。其中，EAA含量高低可决定肌肉蛋白品质；FAA是形成肉香味的必需前体氨基酸，其含量高低可决定猪肉风味[16]。本试验中，与对照组相比，30~100 kg阶段（全期）饲粮中添加100 g/t XOS显著增加了肌肉组织中EAA、FAA和TAA含量，添加500 g/t XOS显著增加了肌肉组织中FAA含量，提示XOS可改善猪肉的蛋白品质和风味，且以全期添加100 g/t XOS组效果较好，这可能与XOS作为后肠有益菌发酵的底物改善了后肠微生态，在肠道微生物参与下增加的菌体蛋白可调节机体氨基酸代谢[17-18]。在猪上的研究表明，在结肠肠腔中注射蛋白质和氨基酸，机体的氮平衡得到改善[19]。Glu和Phe是猪肉中重要的鲜味和甜味因子。本试验中，与30~65 kg阶段（前期）100或250 g/t XOS组相比，全期添加100和250 g/t XOS可显著增加肌肉中Phe或Glu含量，提示试验全期添加XOS有利于肉质风味的改善。Thr和Leu可调节机体的蛋白质代谢，参与特殊时期的氧化供能[5]；Ser可调节肌肉的生长，参与脂肪和脂肪酸的代谢等。本试验中，与对照组相比，全期添加100和500 g/t XOS显著增加了肌肉中Thr、Leu或Ser含量，提示试验全期添加100或500 g/t XOS可促进机体蛋白质和脂肪代谢，这与前人的研究结果基本一致[5]。

肌纤维是肌肉的基本单位，肌纤维类型和肌肉生长相关基因表达对肉品质的调控具有重要作用。例如，家畜肌肉中*MyHC*Ⅰ、*MyHC*Ⅱ*a*和*MyHC*Ⅱ*x*基因mRNA表达量与肌肉的嫩度、色泽、肌内脂肪含量等指标呈正相关，而与剪切力呈负相关；而MyHCⅡb型肌纤维与剪切力呈正相关，与其他肉质性状呈负相关[20]。本研究中，饲粮添加500 g/t XOS促进了肌肉中*MyHC*Ⅱ*x*基因mRNA表达，提示猪肉品质得到一定程度改善。在肌肉生长相关基因中，MyoD可使其他类型细胞转化为成肌细胞并促进其分化为成熟的肌纤维；MyoG是骨骼肌发育的正调控因子，可调节肌肉肌球蛋白轻链、肌钙蛋白等特异蛋白的表达，同时在成肌细胞融合为肌纤维过程中也起调控作用[21]；MEF2A可促进肌肉特异性基因的表达。本研究中，全期添加100 g/t XOS可上调肌肉中*MyOD*、*MyoG*和*MEF2A*基因mRNA表达，且显著高于全期250或500 g/t XOS组以及前期100 g/t XOS组，提示XOS可调控肌细胞的分化及肌纤维的形成，进而促进肌肉的生长。*MSTN*基因表达量与肌内脂肪含量呈显著正相关，与肌

纤维直径呈显著负相关[22]。本试验全期添加 100 g/t XOS 显著上调了 *MSTN* 基因 mRNA 的表达，这可能是引起背最长肌中肌内脂肪含量增加的原因[7]。

4 结 论

饲粮添加一定剂量的 XOS 可调控机体氮代谢，上调肌纤维类型和肌肉生长相关基因的表达，且以 30~100 kg 阶段添加 100 g/t XOS 的效果较佳。

参考文献：

[1] 印遇龙,孔祥峰,李铁军.新世纪我国畜禽养殖业面临的主要问题及应对措施[J].饲料工业,2007,28(14):1–5.

[2] 雷钊,尹达菲,袁建敏.阿拉伯木聚糖和阿拉伯低聚木糖的益生功能研究进展[J].动物营养学报,2017,29(2):365–373.

[3] 庄洪廷,魏书林,陈倩妮,等.低聚木糖的研究与应用[J].中国畜牧兽医,2007,34(12):25–27.

[4] SMIRICKY-TJARDES M R,FLICKINGER E A,GRIESHOP C M,et al.*In vitro* fermentation characteristics of selected oligosaccharides by swine fecal microflora[J].Journal of Animal Science,2003,81(10):2505–2514.

[5] 郭秋平,王文龙,李凤娜,等.低聚木糖对仔猪生长性能、肌肉组织营养成分含量及肌纤维类型组成的影响[J].动物营养学报,2017,29(8):2769–2776.

[6] 韩丽,潘杰,张婷,等.低聚木糖对生长肥育猪血浆生化参数和肌肉脂肪酸组成的影响[J].动物营养学报,2017,29(9):3316–3324.

[7] 潘杰,韩丽,张婷,等.低聚木糖对生长肥育猪生长性能、胴体性状和肉品质的影响[J].动物营养学报,2017,29(7):2475–2481.

[8] 谭兵兵,姬玉娇,丁浩,等.低聚木糖对断奶仔猪生长性能、腹泻率和血浆生化参数的影响[J].动物营养学报,2016,28(8):2556–2563.

[9] 周笑犁,傅德智,孔祥峰,等.大豆寡糖对断奶环江香猪生长性能和营养物质代谢的影响[J].天然产物研究与开发,2012,24(1):98–101.

[10] 柏美娟,孔祥峰,印遇龙,等.瘦肉型和脂肪型肥育猪胴体性状和肉质的比较研究[J].中国畜牧兽医,2009,36(6):178–181.

[11] 祝倩,孔祥峰,姬玉娇,等.高、低营养水平饲粮对妊娠环江香猪繁殖性能、体成分和血浆生化参数的影响[J].动物营养学报,2016,28(5):1534–1540.

[12] LIU Y Y,LI F N,KONG X F,et al.Signaling pathways related to protein synthesis and amino acid concentration in pig skeletal muscles depend on the dietary protein level,genotype and developmental stages[J].PLoS One,2015,10(9):e138277.

[13] 杨海英,杨在宾,杨维仁,等.益生素和低聚木糖对断奶仔猪生产性能、消化酶活性、血液指标和肠道微生物的影响[J].中国兽医学报,2009,29(7):914–919.

[14] 耿梅梅,印遇龙,孔祥峰,等.门静脉灌注葡萄糖对宁乡猪血液生化参数的影响[J].安徽农业科学,2010,38(5):2372–2375.

[15] 王喜明,许丽,袁玲,等.低聚木糖对犊牛生长性能和血液生化指标的影响[J].东北农业大学学报,2008,39(7):61–65.

[16] 朱砺,李学伟,帅素容,等.大河猪与大河乌猪的肌肉营养成分分析[J].中国畜牧杂志,2008,44(7):6–9.

[17] DAI Z L,WU G Y,ZHU W Y.Amino acid metabolism in intestinal bacteria:links between gut ecology and host health[J].Frontiers in Bioscience,2011,16(1):1768–1786.

[18] 孔祥峰.结肠微生物氮代谢与机体健康研究进展[J].饲料与畜牧,2013(4):10–17.

[19] BLACHIER F,MARIOTTI F,HUNEAU J F,et al.Effects of amino acid-derived luminal metabolites on the colonic epithelium and physiopathological consequences[J].Amino Acids,2007,33(4):547–562

[20] HU H M,WANG J Y,ZHU R S,et al.Effect of myosin heavy chain composition of muscles on meat quality in *Laiwu* pigs and Duroc[J].Science in China Series C:Life Sciences,2008,51(2):127–132.

[21] GENXI Z,YING T,TAO Z,et al.Expression profiles and association analysis with growth traits of the *MyoG* and *Myf5* genes in the *Jinghai* yellow chicken[J].Molecular Biology Reports,2014,41(11):7331–7338.

[22] 李帅,杨舒黎,荀潇,等.肌肉生成抑制素(*MSTN*)基因研究进展[J].中国畜牧兽医,2011,38(2):60–64.

Effects of Xylo-Oligosaccharide on Plasma Biochemical Indices, Amino Acid Contents and Fiber Type Composition of Muscle of Growing-Finishing Pigs

HAN Li[1,2] PAN Jie[3] XIE Peifeng[1,3] DING Hao[3,4] WANG Zhanbin[2] HUANG Xingguo[3] KONG Xiangfeng[1,3*]

(1. *Key Laboratory of Agro-ecological Processes in Subtropical Region, Laboratory of Animal Nutritional Physiology and Metabolic Process, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha* 410125, *China*; 2. *College of Animal Science and Technology, Henan University of Science and Technology, Luoyang* 471003, *China;* 3. *College of Animal Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha* 410128, *China;* 4. *Shandong Longli Biotechnology Co., Ltd., Yucheng* 251200, *China)*

Abstract: The present study was conducted to investigate the effects of xylo-oligosaccharide (XOS) on plasma biochemical indices, amino acid contents and fiber type composition of muscle of growing-finishing pigs. A total of 80 Duroc×Large White×Landrace pigs with an initial body weight of about 30 kg and 70 days of age were randomly assigned to 8 groups with 10 replicates per group (half male and half female) and one pig in a replicate. The eight groups included control group, antibiotic group, supplementation groups of 100, 250 and 500 g/t XOS during 30 to 65 kg stage, and supplementation groups of 100, 250 or 500 g/t XOS during 30 to 100 kg stage. When

the average body weight of pigs reached about 100 kg, blood samples were collected by precaval vein, and then the plasma were obtained for analyzing biochemical indices. The samples of *longissimus dorsi* (LD) muscle were collected and the contents of amino acids, mRNA expression levels of muscle fiber types and muscle growth-related genes were measured. The results showed as follows: 1) compared with the control group or antibiotic group, dietary supplementation with different doses of XOS significantly increased plasma globulin content and significantly decreased the ratio of albumin to globulin (P<0.05); 2) compared with the control group or antibiotic group, during 30 to 65 kg stage, dietary supplementation with 250 g/t XOS significantly decreased the contents of threonine (Thr), leucine (Leu), phenylalanine and serine (Ser) in LD muscle (P<0.05), and dietary supplementation with 500 g/t XOS significantly increased the mRNA expression levels of myosin heavy chain Ⅱx (*MyHC*Ⅱ*x*), myogenic determination gene (*MyoD*), myogenin (*MyoG*) and muscle cell enhancement factor 2A (*MEF2A*) in LD muscle (P<0.05); 3) compared with the control group or antibiotic group, during 30 to 100 kg stage, dietary supplementation with 100 or 500 g/t XOS significantly increased the contents of Thr, Leu, Ser, total amino acids, essential amino acids and flavor amino acids, as well as the mRNA expression levels of *MyHC*IⅡ*x*, *MyOD*, *MyoG*, *MEF2A* and myostatin in LD muscle (P<0.05). Collectively, these findings suggest that dietary supplementation with suitable doses of XOS can regulate nitrogen metabolism and up-regulate the expression levels of muscle fiber type and muscle growth-related genes; and the efficiency of dietary supplementation with 100 g/t XOS is optimal for pigs with 30 to 100 kg body weight.

Key words: xylo-oligosaccharides; growing-finishing pigs; biochemical indices; amino acids; muscle fiber type[i]

---

*Corresponding author, professor, E-mail: nnkxf@isa.ac.cn   (责任编辑　田艳明)